**УДК 628.58.521**

**Ю. В. Рой, інж.,
В. Ф. Рой,**
докт. фіз.-мат. наук.
Харківський національний
університет міського
господарства
імені О. М. Бекетова

М. Г. Бурма,
канд. техн. наук
Фізико-технічний
інститут низьких
температур
імені Б. І. Веркіна

ПУСКОРЕГУЛЮЮЧИЙ АПАРАТ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП ВИСОКОГО ТИСКУ

Вступ

Вимоги до енергоекономічності споживачів електроенергії пов'язані не тільки з необхідністю всебічної економії електроенергії, але також і з проблемами екології, оскільки існуюча тенденція зростання споживання електроенергії супроводжується збільшенням спалення копалинних ресурсів і відповідно, викидів в навколишню атмосферу CO₂. Це стосується також і світлотехнічної галузі, яка споживає біля 20% електроенергії що виробляється і ця частка має тенденцію до зростання. Як відомо, освітлювальні установки (ОУ) окрім вирішення проблеми забезпечення об'єктів ЖКГ і промисловості нормованими рівнями освітлення, широко використовуються також в різних галузях народного господарства в якості технологічного засобу. Одним з найбільш дієвих засобів підвищення енергоефективності та розширення функціональних можливостей освітлювальних установок є використання енергоекономічних джерел світла (ДС) - розрядних ламп високого тиску в сукупності з спеціальними пускорегулюючими апаратами (ПРА), що забезпечують надійне запалення та стабільну роботу таких ламп. Найбільш ефективними перетворювачами електричної енергії в світлову в теперішній час є розрядні лампи типу ДНаТ потужністю 250 - 400 Вт, які мають високу світлову віддачу при тривалому строку служби, характеризуються високою стабільністю світлового потоку на протязі усього строку служби (спад світлового потоку не перевищує 20% за 10000 годин горіння) і широко використовуються в системах зовнішнього освітлення. Світлова віддача таких ламп, сягає 150 лм/Вт, вони мають підвищену габаритну яскравість розрядної колби, а висхідні при повільній зміні струму вольт-амперні характеристики дають підстави вважати, що такі лампи є одними з перспективних джерел випромінювання використання яких дозволить більш ефективно використовувати електроенергію як для освітлення, так і в різноманітних технологічних установках. Перспективним напрямком розширення сфери використання таких джерел випромінювання, є використання РЛ типу ДНаТ потужністю (35 – 100) Вт, що також мають високі світлотехнічні показники і досить широку сферу застосування – від систем загального

освітлення, до спеціальних технологічних ОУ. Але для широкого впровадження таких ДС необхідно вирішити ряд технічних проблем, пов'язаних з особливостями режиму їх роботи, і специфікою їх електродинамічних характеристик, обумовлених дуже малою інерційністю розряду, що на порядок менша, ніж у люмінесцентних ламп. Незважаючи на значну кількість опублікованих на даний час робіт, присвячених вирішенню проблем застосування малопотужних РЛВТ, та значний прогрес в цьому напрямку, залишається ряд питань, що потребують пошуку відповідних технічних рішень.

Однією з таких проблем малопотужних РЛВТ, є високий коефіцієнт імпульсу таких ламп, що вимагає спеціального технічного рішення щодо параметрів пускорегулюючих апаратів. Стандартні ПРА для РЛВТ, що використовуються в комплекті з лампами середньої та високої потужності, містять малопотужний генератор запалювальних імпульсів амплітудою 1,5-4,5 кВ, який, при погасанні лампи (наприклад, внаслідок зниження напруги живлення) тривалий час (понад 5-7 хвилин) не здатний завдяки насиченню магнітопроводу імпульсного трансформатора перезапалити лампу, доки не відбудеться повна деіонізація розрядного проміжку. Негативним моментом, який супроводжує процес запалення лампи є те, що при цьому суттєво (в декілька разів) зростає струм в колі живлення лампи, що призводить до посиленого розпилення емісійного покриття електродів і значного (~до 20%) зменшення строку служби лампи. Одночасно це супроводжується значним перевантаженням всієї схеми в цілому, що потребує збільшення запасу електричної міцності усіх її елементів. Причиною виникнення такого аномального режиму лампи є наявність несиметрії емісійних характеристик електродів, пов'язаних з недосконалістю технології, що призводить до виникнення несиметричного розряду завдяки перегріву одного з електродів, коли в лампі одночасно існують дуговий та тліючий розряди. Відомо, що при різких зниженнях напруги (~5 В/с) навіть у невеликих межах, напруга згасання лампи зростає до $0,9U_{ном}$, що потребує застосування відповідних технічних рішень запобіганню такому явищу.

Термін роботи НЛВТ визначається поступовим зростанням напруги на лампі, обумовленим інтенсивністю протікання фізико-хімічних процесів в об'ємі розрядної колби, зменшенням натрію в процесі горіння розряду внаслідок дифузії через керамічну стінку пальника, взаємодії його з емісійним покриттям електродів. За рахунок запилення приелектродних ділянок розрядної колби в процесі роботи відбувається зростання температури електродів і всієї оболонки за рахунок зниження її світлопропускання, тому термін роботи таких ламп складає в середньому ≈ 20 тис. годин. Оскільки ці лампи працюють при низьких співвідношеннях $U_d / U_m \approx 0,45 \div 5$, (U_d – напруга на лампі; U_m – напруга живлячої мережі), то їм притаманний відносно низький коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) і великі струми, що, в свою чергу, потребує значних габаритів пускорегулюючих апаратів (ПРА) і виростання спеціальних запалюючих пристроїв. [2]. Це стосується і малопотужних НЛВТ, що мають малий діаметр розрядної колби і, відповідно, в них інтенсивніше відбувається явище амбіполярної дифузії, що призводить до викривлення вольт-амперних характеристик (ВАХ), спотворення форми напруги, збільшення піку перезапалення і зниженню ефективності роботи лампи і освітлювальних установок (ОУ) в цілому. Слід відмітити також сильну залежність електричних і світлотехнічних характеристик від напруги мережі, а також значні (до 70%) пульсації світлового потоку. Це пов'язано з можливістю виникнення діодного ефекту при запаленні такої лампи, внаслідок чого пусковий струм може зрости до 5 разів понад номінального, що призведе до інтенсивного розпилення електродів і скорочення строку служби. Від цього залежить

також коефіцієнт імпульсу (відношення піка перезапалення $U_{пз}$ до $U_{л}$), який згідно [3,4] досягає 1,8 – 2,2, що значно більше, ніж у розрядних ламп типу ДРЛ.

Мета і постановка задачі.

Задачею цієї роботи є пошуку можливостей підвищення ефективності та енергоекономічності ОУ і відповідності їх Європейському стандарту EN 12464-1, за рахунок використання енергоефективних джерел світла – натрієвих ламп високого тиску. Важливим чинником для забезпечення ефективної роботи НЛВТ типа ДНаТ є підтримання оптимальних електричних параметрів (напруги живлення, потужності, струму, амплітуди запалюючого імпульсу). Це значною мірою визначається параметрами електричної схеми пускорегулюючого апарату і її сумісністю з параметрами живлячої мережі. Основним фактором, що визначає строк служби НЛВТ, є перехід її в циклічний режим “запалення-погасання” внаслідок зростання напруги на лампі ($2\div 5$ В на 1000 годин горіння) до деякої критичної величини – напруги погасання [5]. Величина напруги перезапалення безпосередньо визначається електродинамічними властивостями позитивного стовпа розряду в лампі, зокрема, ступенем деіонізаційних процесів і температурного режиму електродів. Тому, для надійного запалення розряду в лампі і виключення можливості виникнення діодного ефекту необхідно в кожний напівперіод змінної напруги прикладати до її електродів напругу $U_{пз}$, достатньою для її перезапалення. Іншою важливою проблемою є стабілізація струму лампи на протязі строку експлуатації, що безпосередньо визначає її строк служби. Перспективним напрямком забезпечення найбільш ефективної роботи розрядних ламп високого тиску, є робота їх в комплекті з електронним ПРА, який дозволяє знизити втрати електроенергії і реалізувати ряд додаткових важливих функцій, що підвищують енергоекономічність освітлювальної установки в цілому. Перевагою електронного ПРА перед електромагнітним, є, насамперед, стабілізація потужності і світлового потоку лампи, що забезпечує підвищений строк служби лампи; зменшення споживаної потужності до 20 %; відсутність стробоскопічного ефекту за рахунок відсутності низькочастотних пульсацій світлового потоку; наявність захисту у разі виникнення аварійних режимів (короткого замикання на виході або перегоранні лампи); можливість регулювання рівнем освітленості робочих приміщень; підвищене значення коефіцієнта потужності; електромагнітну сумісність з живлячою мережею [6].

Не зважаючи на такі переваги перед електромагнітними ПРА, використання електронних апаратів не знайшло широкого застосування завдяки ряду притаманних їм недоліків. Електронні ПРА мають менший строк служби і надійність, обумовлені великою кількістю комплектуючих компонентів і меншою стійкістю до перевантажень, особливо до дії підвищеної температури, що не дозволяє розміщувати їх безпосередньо в корпусі світильника. При роботі на підвищених частотах з електронним ПРА виникає проблема «акустичного резонансу», в разі, якщо частота інвертора співпадає з особистою акустичною резонансною частотою лампи або її конструктивних елементів. Це супроводжується утворенням стоячих хвиль і випромінюванням лампою звука з можливим рівнем гучності до 130 Дб, а такою імовірним відривом розрядної колби від комутаційних траверс і руйнуванням колби лампи [7]. Небезпечно також явище несиметричного розряду в процесі запалення лампи, обумовлене електричною розбіжністю параметрів електродів, що призводить до аномально високих струмів, які скорочують строк служби лампи завдяки інтенсивному розпиленню емісійного покриття електродів на стінки колби лампи. Це супроводжується підвищенням температури прикатодної зони пальника і зниженням

світлового потоку лампи внаслідок прискореного запилення колби. Спостерігається також збільшення теплових втрат електроенергії на силових комутаційних елементах інвертора електронного ПРА на підвищених частотах [8].

Вартість електронних ПРА значно перевищує електромагнітні і внаслідок більшої складності, потребує більш високої кваліфікації при монтажі і обслуговуванні. При роботі з лампами потужністю більшу за 150 Вт ефективність роботи електронного і електромагнітного ПРА практично не відрізняються. Таким чином, переваги електронних ПРА значною мірою нівелюються суттєвими проблемами, вирішення яких потребує ще більшого ускладнення і здорожчення функціональної схеми апарату. Тому, на наш погляд, раціональним шляхом забезпечення ефективної роботи комплексу РЛ-ПРА є створення комбінованого (гібридного) ПРА, який базується на основі електромагнітного з додатковим електронним блоком, що поєднує простоту і надійність першого з функціональними перевагами електронного.

Матеріали та результати дослідження.

Найбільш суттєвим фактором, що впливає на строк служби, є підвищення напруги живлячої мережі U_m , що призводить до різкого зростання напруги на лампі U_L [9]. При підвищенні U_m суттєво підвищується теплове навантаження на елементи конструкції лампи, прискорюється процес втрати Na в пальнику і зростає градієнт напруги на електродах.

При дослідженні режимів малопотужних ДНаТ використовувалась як стандартна методика [10], при частоті живлення 50 Гц, так і методика заснована на вимірюванні миттєвих величин напруги і струму з подальшим розрахунком діючих значень цих параметрів згідно відомим співвідношенням при живленні підвищеною частотою:

$$U_L = \left[1/m \sum_{x=0}^{m-1} u^2(t) \right]^{1/2}; \quad (1)$$

$$I_L = \left[1/m \sum_{x=0}^{m-1} i^2(t) \right]^{1/2}; \quad (2)$$

$$P_L = \sum_{x=0}^{m-1} u(t), i(t), \quad (3)$$

де U_L , I_L , P_L - діючі величини напруги, струму та потужності;
 $u(t)$, $i(t)$ - миттєві значення напруги і струму;
 m - кількість вимірювань за період.

Для визначення вимірювальних параметрів використовувався двохканальний цифровий осцилограф, об'єднаний з робочим комп'ютером, який здійснював обробку отриманих даних щодо U_L , I_L , P_L по заданій програмі. Частоту і амплітуду U_{xx} визначали по осцилограмам. Оцінку впливу співвідношення U_{i3}/U_e на граничну величину робочої напруги на лампі визначали із відомого співвідношення [11]:

$$U_{\text{л}}/U_{\text{м}} \leq \sqrt{\frac{2}{\frac{\pi^2}{4} + \left(\frac{U_{\text{із}}}{U_{\text{Г}}}\right)^2}}, \quad (4)$$

де $U_{\text{із}}$ – напруга імпульсу запалення;

$U_{\text{Г}}$ – напруга горіння розряду без пауз струму.

Для ефективного вирішення проблеми ефективної роботи РЛ типу ДНаТ була розроблена схема комбінованого ПРА, яка відповідає сучасними вимогами щодо надійності та енергоекономічності, а також міжнародним стандартам (див. рис. 1). Розроблена схема комбінованого ПРА для РЛВТ дає змогу забезпечити надійне запалення та перезапалення лампи завдяки примусовому ініціюванню розряду двічі за період синусоїдальної напруги, що дозволяє усунути виникнення небезпечного аномального режиму, пов'язаного з виникненням «діодного ефекту». Ця проблема вирішується завдяки розташуванню на стандартному струмостабілізуючому дроселі додаткової маловіткової обмотки, яка є елементом контуру генератора запалюючих імпульсів.

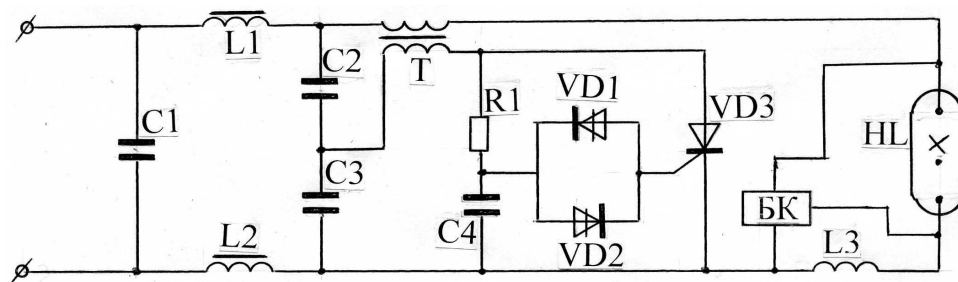


Рис. 1 – Схема комбінованого (гібридного) ПРА для РЛВТ

На рисунку наведена принципова схема розробленого нами пускорегулюючого апарату для малопотужних РЛВТ, особливостями якої є використання єдиного магнітопроводу, як в ланцюгу стабілізації струму лампи, так і в ланцюгу генератора запалюючих імпульсів, чим досягається підвищена потужність генерованих імпульсів і подача двічі за період напруги живлення імпульсів як в позитивний, так і в негативний напівперіоди. Генератор імпульсів містить тиристор VD3, в коло навантаження якого ввімкнута первинна обмотка трансформатора T, вторинна обмотка якого виконує роль струмостабілізуючого елементу розрядної лампи HL. Ємнісний дільник C2, C3 обмежує потужність імпульсного генератора до нормованої величини і одночасно, разом зі вторинною обмоткою трансформатора T, виконує роль мережового фільтра імпульсних сигналів. Момент початку роботи тиристорного генератора визначається величиною робочої напруги диністорів VD1-VD2. Елементи R1, C4 забезпечують роботу імпульсного генератора в режим однократного за напівперіод напруги живильної мережі запуску, а фільтр C1, L1, L2 – виконує роль другої ступені задавлення імпульсних сигналів в мережі. При ввімкненні напруги живлення на електроди лампи з вторинної обмотки трансформатора T подається напруга мережі одночасно з високовольтним запалюючим імпульсом, амплітуда якого

$U_{\text{м}} = \frac{C2}{(C2 + C3)} \frac{W2}{W1}$ знаходиться в межах 1,5-4,5 кВ в залежності від стану лампи (тут

$W1$, $W2$ – число витків первинної та вторинної обмоток трансформатора T . Після запалення розряду в лампі відбувається шунтуванням її розрядним проміжком ланцюгу генератора імпульсів і він вимикається. При погасанні лампи генератор автоматично вмикається і лампа за час порядку 5 с. перезапалюється. Тривалість повторного запалення РЛ після 5-ти секундного відключення від мережі живлення складала порядку 10-15 секунд, - тобто фактично відбувається «горяче» перезапалення лампи, що також є особливістю роботи даного апарату, оскільки у існуючих стандартних запалюючих пристроях типу УІЗУ процес повторного запалення після погасання лампи триває на протязі 5 – 7 хвилин.

На рис.2 наведені типові осцилограми сигналів на РЛ в момент її запалювання і після виходу на робочий режим. Імпульс запалення на фоні напруги живлення 50 Гц являє собою швидко затухаючі ударно збуджені коливання, частота яких визначається індуктивністю розсіювання та розподіленою ємністю трансформатора T і знаходиться в межах 5 кГц. Форма сигналу на РЛ типу ДНаТ-50 після переходу в робочий режим відображає її динамічну вольт-амперну характеристику і визначається значною (порядку 200 В) напругою перезапалювання.

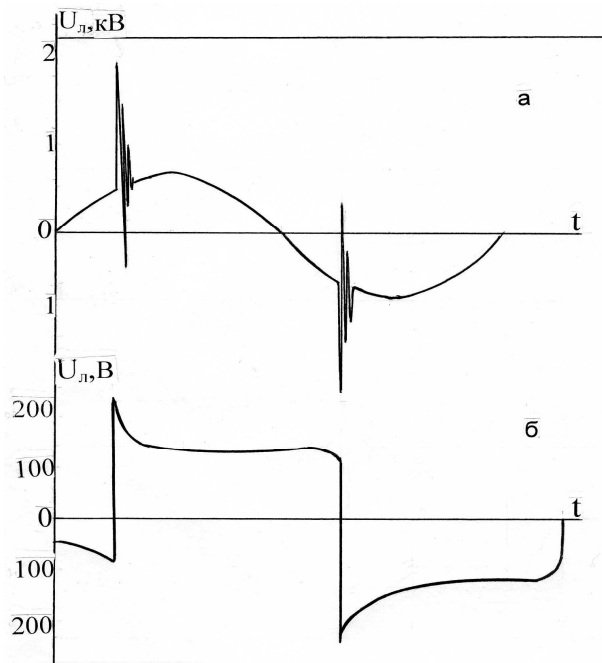


Рис.2 – Форма напруги на РЛ типу ДНаТ-50;
а- у момент запалювання; б – у робочому режимі

Після запалення розряду струм лампи досягає номінального для даного типу лампи величини і на індуктивному опорі $L3$, який є датчиком струму лампи, з'являється напруга, яка подається у блок керування БК. Для стабілізації струму лампи і обмеження потужності використовується зворотній зв'язок (БК) по струму лампи, величина якого фіксується на індуктивності $L3$. Експериментальні зразки запропонованого ПРА досліджувались разом з РЛ типу ДНаТ потужністю 30÷100 Вт виробництва Полтавського заводу розрядних ламп. Для РЛ потужністю 30 – 50 Вт стійка робота при нормованому рівні світлового потоку спостерігалась у 90 % дослідних ламп; для ламп потужністю 75-100 Вт – у 100 % зразків.

Використання схеми двохступеневої фільтрації імпульсних сигналів дозволило знизити інтенсивність імпульсних радіоперешкод в мережі змінного струму до рівня 60 дБ від величини спожитої потужності, що відповідає нормам міжнародного стандарту ІЕС EN 61000-3-2, який регламентує граничні значення складових спожитого комплектом РЛ-ПРА мережевого струму.

Висновки

Результати проведених досліджень свідчать, що при застосуванні розробленого комбінованого ПРА забезпечується:

- надійне запалення розряду в лампах типу ДНаТ на протязі всього регламентного строку служби;
- повна відсутність акустичного резонансу і несиметричного розряду;
- не спостерігається надмірного розпилення емісійного покриття електродів на колбу лампи;
- регулювання струму лампи забезпечує стабільність режиму її роботи на протязі всього строку служби.

Таким чином, запропонований комбінований ПРА для малопотужних розрядних ламп типу ДНаТ вирішує важливі проблеми забезпечення ефективної роботи освітлювальних установок.

Література

1. Погребной Ю. В. Современные натриевые лампы высокого давления. Новости светотехники / ред. Ю. Б. Айзенберг. – М. : Дом света. – 1998. – Вып.7. – 16 с.
2. Белоконь Л. А. Зажигающие устройства для разрядных ламп высокого давления / Л. А. Белоконь, Н. Л. Белоконь // Світло Люкс. – 2005. – № 6. – С. 42 – 44.
3. Ward P. C. Analisic of high pressure sodium lamp voltage rise / P. C. Ward // JIES. 1982. – V.11. – No 2. – С. 94 – 97.
4. Ward P. C. Netimation of high pressure sodium lamp voltage rise as a function of ballast characteristic curve parameters/ P.C. Ward // JIES: 1983. – V.13. – No.1. – С.157 – 161.
5. Хайнц Р. Характер работы разрядных ламп высокого давления / Р. Хайнц // Светотехника. – 2005. – № 4. – С. 16 – 20.
6. Обжерин Е. А. Особенности анализа и расчёт современных систем питания ламп высокой интенсивности. Е. А. Обжерин, В. Д. Поляков, В. А. Пузанов // Светотехника. – 2006. – № 6. – С. 49 – 54.
7. Фишбайн О. Электронный пускорегулирующий аппарат для разрядных ламп высокого давления. Преимущества и недостатки. /О. Фишбайн. // Светотехника. – 2006. – № 5. – с. 54 – 56.
8. Белоконь Л.А. Энергосберегающие электронные балласты для разрядных ламп высокого давления./ Л. А. Белоконь, Н. Л. Белоконь // Світло Люкс. – 2006. – № 5. – С. 34 – 38.
9. Иванов В.М. Напряжение сети и срок службы маломощных натриевых ламп высокого давления. / В.М. Иванов, Г.М. Кожушко, О.Г. Корягин // Светотехника. – 1992. – № 7. – С. 2 – 3.
10. ГОСТ 17616-82. Лампы разрядные. Методы измерения электрических и световых параметров. М.: 1982. – 15 с.
11. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами // М. : Энергия. – 1974. – 368 с.

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЙ АППАРАТ ДЛЯ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВИСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ю. В. Рой, В. Ф. Рой, М. Г. Бурма

С целью повышения энергоэкономичности осветительных установок предлагается использование маломощных (35 – 100 Вт) натриевых ламп высокого

давления, имеющих наиболее высокую световую отдачу среди современных разрядных источников света и незначительный спад светового потока при длительном сроке службы. Поскольку натриевые лампы малой мощности из-за конструктивных особенностей предъявляют особые требования к условиям зажигания и режиму работы, то решалась задача обеспечения стабильной работы ламп типа ДНаТ с помощью разработанного комбинированного пускорегулирующего аппарата, обеспечивающего надёжное зажигание разряда и оптимизацию режима работы лампы на протяжении всего регламентного срока эксплуатации. Предлагаемая схема устройства, состоящая из элементов электромагнитного и электронного блоков, позволила исключить «диодный эффект» в лампе, уменьшить распыление эмиссионного покрытия электродов и осуществить стабилизацию тока лампы, что обеспечивает максимальную эффективность её работы.

STAGING AND CONTROL DEVICE FOR HIGH PRESSURE DISCHARGE LAMPS

Y. V. Roy, V. F. Roy, N. G. Burma

The authors suggest using high pressure high pressure discharge lamps (DNaT-type, high-pressure sodium lamps, 35-100W) in different illumination equipment in order to increase its efficiency and optimize power consumption. Known problem of this solution is low reliability of the lighting and limited lifetime. It is addressed by using brand new combined starting and current control device, which reliably starts the discharge process in the lamp, ensures absence of acoustic resonance and non-symmetric discharge, provides stable illumination, and protects electrodes surface from the extra emission by controlling current. Illumination equipment produced by suggested schedule must be very efficient and reliable devices with long lifetime.